

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РАЗМЕРОВ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ГЕКСАПОДА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время усилился интерес к разработке станков с параллельной кинематикой (parallel kinematic machines, РКМ). Такие разновидности РКМ как гексаподы и триподы включают в себя подвижную платформу, которая соединена со станиной посредством штанг. При изменении длины штанг подвижная платформа с установленным на ней инструментом (или заготовкой) перемещается и поворачивается в пространстве.

Гексаподы отличает высокая скорость рабочих перемещений, структурная жесткость и относительная дешевизна. Тем не менее, в настоящее время использования таких станков незначительно. Одной из причин этого может служить нетривиальность действий при расчете гексаподов. Например, если для станков с традиционной кинематикой размеры рабочего пространства (зоны обработки) однозначно определяют характеристики приводов, то для гексаподов этот параметр сложным образом зависит от геометрии конструкции. Недостаток данных о характере связи между геометрическими параметрами конструкции и зоной обработки гексапода затрудняет выбор его размеров, обеспечивающих заданные характеристики станка. Поэтому целью настоящей работы является разработка методик оценки связи между размерами гексапода и зоной обработки, а также способы выбора основных размеров гексапода, который сможет обеспечить обработку в заданной рабочей зоне.

Зона досягаемости рабочего органа гексапода определяется двумя основными факторами:

- максимально допустимым углом поворота штанг в шарнирах Ω_{MAX} ;
- минимально и максимально допустимой длинами штанг.

В дальнейшем во внимание будем принимать влияние только максимально допустимого угла поворота штанг в шарнирах Ω_{MAX} , как параметра, наиболее трудно поддающегося изменению. Тогда зона досягаемости рабочего органа гексапода представляет собой поверхность, в каждой точке которой значение угла поворота в одном или нескольких шарнирах станины или платформы достигает предельно допустимого значения Ω_{MAX} .

Как правило, зону доступа определяют одним из численных методов [1, 2, 3, 4]. Общий подход любого численного метода в том, что непрерывную исследуемую область разбивают на конечное число тестовых точек. Выходное звено гексапода последовательно помещают в тестовые точки анализируемой области. В каждой точке определяется возможность обработки, исходя из условия не превышения угла поворота штанг в шарнирах допустимого значения. Чем больше число тестовых точек, тем более точно рассчитывается объем зоны доступа, но тем больше времени требуется для расчета. Развернутый алгоритм нахождения поверхности зоны доступа заключается в следующем:

- задаются базовые параметры гексапода:
- координаты центров шаровых шарниров станины в глобальной системе координат;
- координаты центров шаровых шарниров расположенных на подвижной платформе в системе координат, связанной с платформой;
- векторы нейтральных осей шарниров станины и платформы, соответственно, в глобальной и локальной системах координат;
- углы наклона плоскости платформы α , β , χ в глобальной системе координат относительно осей координат;

- рассчитываются координаты шарниров, расположенных на подвижной платформе, при нахождении центра платформы в точке с координатами (X, Y, Z) в глобальной системе координат;
- рассчитываются координаты концов векторов нейтральных осей шарниров станины и платформы при тех же условиях;
- определяются угол между осью штанги и нейтральной осью для всех шарниров, расположенных как на станине, так и на платформе;
- проверяется условие, что ни для одного шарнира угол между осью штанги и нейтральной осью не превышает предельного допустимого для значения,
- если условие (5) выполняется, то центр платформы перемещается на некоторый шаг в избранном направлении и пункты (2) – (5) повторяется для этого нового положения центра платформы. Например, поиск границы зоны обработки может начинаться от центра глобальной системы координат при фиксированном Z и продолжаться вдоль каждого из N радиусов, с постоянным или переменным шагом,
- если условие (5) не выполняется, то координаты предыдущего положения центра платформы принимаются за координаты поверхности зоны доступа гексапода,
- пункты (2) – (6) повторяются до тех пор, пока поверхность зоны доступу гексапода не определится с необходимой точностью.

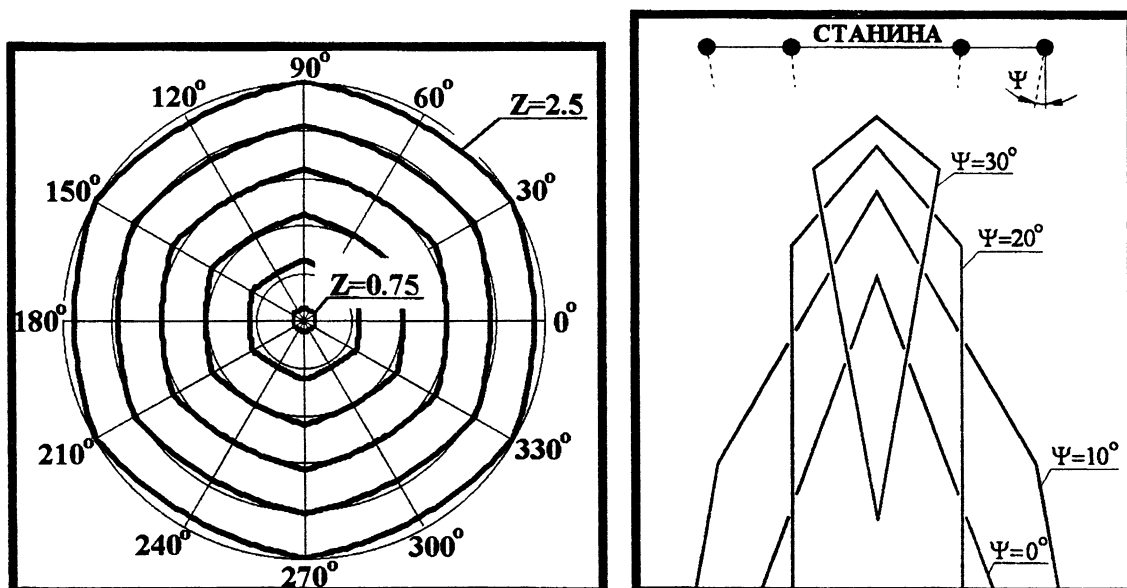


Рисунок 1 – Зона досягаемости рабочего органа гексапода при плоском движении

Для демонстрации возможностей алгоритма определим зону доступа гексапода классической структуры. Подвижная платформа с установленным на нем рабочим органом удерживается шестью штангами управляемой длины. Концы штанг соединяются с подвижной платформой и с неподвижной станиной посредством шаровых шарниров. Примем, что шарниры на станине и на платформе равномерно размещены на окружностях O_1 и O_2 , диаметры которых равны, соответственно, $D_{\text{СТАН}}$ и $D_{\text{ПЛАТ}}$. Начало глобальной цилиндрической системы координат (r, φ) станка совпадает с центром окружности O_1 , ось Z перпендикулярна к плоскости O_1 и направлена в сторону платформы. Расчетное положение рабочего органа примем в центре платформы. Для общности рассмотрения примем, что нейтральные оси шарниров станины симметрично наклонены на угол Ψ к центру станины, а нейтральные оси шарниров платформы тоже наклонены на угол Ψ , но уже от центра платформы.

Определим зону доступа гексапода по описанному выше алгоритму для случая, когда платформа при перемещении остается параллельной плоскости станины. Такой тип движе-

ния соответствует 3-осевой обработке. Результаты расчета приведены на рисунке 1 для $D_{\text{STAN}}=1$, $D_{\text{PLAT}}=0.5D_{\text{STAN}}$, максимально допустимому углу поворота штанг в шарнирах $\Omega_{\text{MAX}}=20^\circ$. В частности, на рисунке 1, а показаны горизонтальные сечения зоны доступа при $\Psi=0^\circ$ и $Z = 0.75; 1.0; 1.25; 1.5; 2; 2.5$. В горизонтальном сечении зона доступа имеет вид криволинейного шестиугольника, форма которого слабо зависит от значения Ψ . По мере увеличения расстояния от станины Z поверхность зоны доступа, в общем, сглаживается.

На рисунке 1, б показаны вертикальные сечения зоны доступа, проведенные через противоположащие шарниры станины и ось Z , при $\Psi = 0^\circ; 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ$. В зависимости от соотношения между Ω_{MAX} и Ψ зона доступа гексапода может принимать четыре различных формы:

- а) при $\Psi=0^\circ$ зона доступа имеет вид конуса со слабой шестиугольной огранкой (на рисунке 1, б сечение этой зоны обозначено $\Psi = 0^\circ$);
- б) при $\Omega_{\text{MAX}} > \Psi > 0^\circ$ она представляет собой объединение двух конусов, обращенных вершинами вверх (на рисунке 1, б сечение этой зоны представлено линией, обозначенной $\Psi = 10^\circ$);
- в) при $\Psi = \Omega_{\text{MAX}}$ зона доступа представляет собой объединение конуса и цилиндра (на рисунке 1, б сечение этой зоны обозначено $\Psi = 20^\circ$);
- г) при $\Psi > \Omega_{\text{MAX}}$ она представляет собой объединение двух конусов с общим основанием (на рисунке 1, б сечение этой зоны обозначено $\Psi = 30^\circ$).

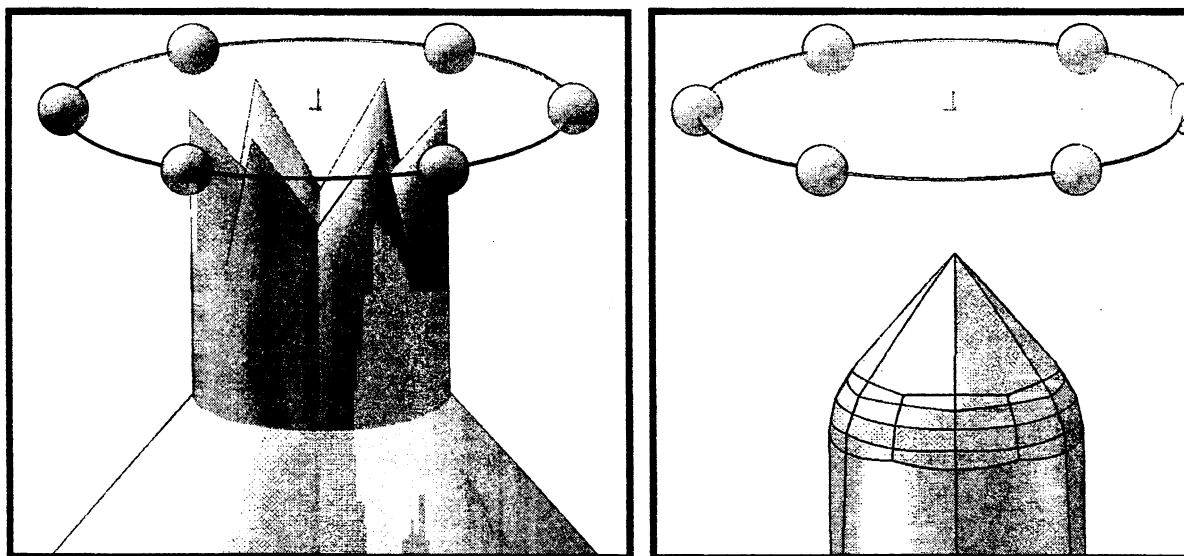


Рисунок 2 – Формирования зоны доступа в пакете твердотельного моделирования

Основное отличие описанного алгоритма от известных в том, что при анализе зоны доступа учитывается ориентация нейтральных осей шарниров. Такой подход позволяет производить целесообразный выбор их ориентации. Например, при выборе $\Psi = \Omega_{\text{MAX}}$ получается зона доступа с минимально возможным расстоянием от станины и в то же время обеспечивающая произвольную глубину обработки. Пример вертикального сечения такой зоны приведен на рисунке 1, б при $\Omega_{\text{MAX}} = \Psi = 20^\circ$. Кроме того, выбирая различные направления наклона нейтральных осей, возможно получить несимметричную зону доступа, наиболее точно покрывающую заданную (например, в виде параллелепипеда) область обработки.

В ряде случаев для определения зоны доступа гексапода удобно использовать возможности современных САД-пакетов. С точки зрения геометрии, возможные положения платформы при плоском движении обусловлены ограничением поворота в каждом из шарниров станины. Графически это ограничение поворота можно представить как наклонный конус с вершиной в центре шарнира станины. В предельно допустимом положении центр сопряженного шарнира платформы будет лежать на поверхности этого конуса ограничений. Поскольку определяется положение не шарнира, а центра платформы, то конусы ограничения для каждого шарнира станины необходимо радиально сместить к центру станины на величину $D_{\text{PLAT}}/2$. На рисунке 2, а показан набор конусов ограничения для гексапода, у кото-

рого $D_{STAN}=1$, $D_{PLAT}=0.5D_{STAN}$, $\Omega_{MAX}=20^\circ$ и $\Psi = 20^\circ$. Тогда область пространства, одновременно принадлежащая всем конусам, и будет представлять собой зону доступа при заданных условиях. Зона доступа, полученная посредством выполнения такой логической операции над конусами ограничений, представлена на рисунке 2, б.

Процесс выбора необходимых размеров гексапода существенно упрощается, если в модель станка дополнительно ввести 3D-модель заданной зоны обработки. Для этого следует совместить зону обработки в соответствии с заданием и зону обработки гексапода, полученную по вышеописанной методике и обусловленную его размерами. Изменяя размеры или характеристики шарниров, легко подобрать минимально необходимые размеры станины, в интерактивном режиме или используя встроенные средства CAD-пакета.

Определим также связь между размерами гексапода и зоны доступа для платформы, наклоненной на некоторый угол. В общем случае платформа может быть повернута на угол α вокруг оси X и на угол β вокруг оси Y локальной системы координат платформы (начало координат лежит в центре платформы, ось X проходит через шарнир №0). При этом поверхность зоны доступа принимает форму, достаточно сложным образом зависящую от значений углов α и β . Например, горизонтальные сечения зоны доступа гексапода при $D_{STAN}=1$, $D_{PLAT}=0.5$, $Z=1$, $\Psi=10^\circ$, $\Omega_{MAX}=20^\circ$ и углах наклона платформы, соответственно $\alpha=10^\circ$, $\beta=0^\circ$ и $\alpha=0^\circ$, $\beta=10^\circ$ показаны на рисунке 3 штриховыми линиями.

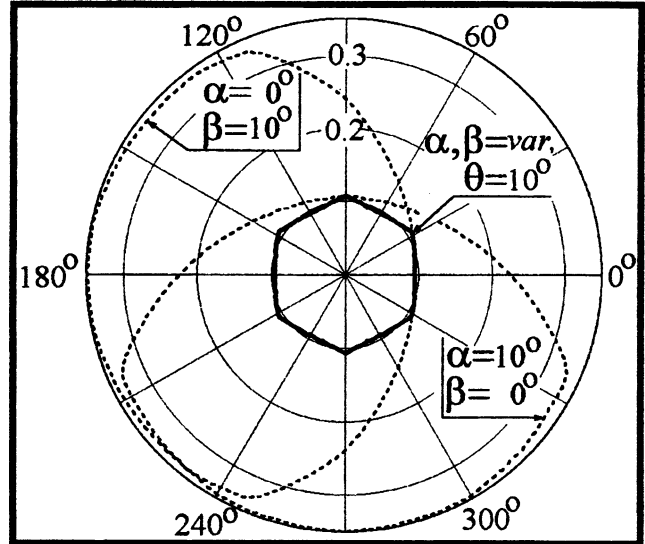


Рисунок 3 – Горизонтальные сечения зоны доступа гексапода при различных углах наклона платформы

Для оценки влияния наклона платформы на размеры зоны доступа удобно рассматривать движение платформы, наклон которой определяется только одним параметром. Пусть это будет угол θ между нормалью к плоскости платформы и осью Z. Такое положение платформы соответствует перемещению ее центра по некоторой конической поверхности с углом при вершине $2 \times \theta$. Кроме того, при таком характере наклона платформы зона доступа имеет, вероятно, минимально возможные размеры (рисунок 3, утолщенная линия в центре).

Сравнивая результаты численных расчетов при движении плоской и повернутой платформы, можно сделать вывод о том, что зона доступа платформы гексапода, наклоненной на угол θ , соответствует зоне доступа горизонтальной платформы, но при следующих коррективах расчетных параметров:

- значении Ω_{MAX} уменьшается на величину угла поворота θ ;
- диаметр платформы D_{PLAT} принимается равным величине $D_{PLAT} \times \cos(\theta)$;
- расстояние от станины до платформы Z увеличивается на величину $(D_{PLAT}/2) \times \sin(\theta)$.

В первом приближении зона доступа платформы гексапода, наклоненной на угол θ , соответствует зоне доступа аналогичной горизонтальной платформы, но при уменьшении расчетного угла максимально возможного отклонения оси штанги от нейтральной оси шарнира Ω_{MAX} на величину угла θ между нормалью к плоскости платформы и осью Z. Погрешность такого приближения не превышает 5% при $Z=Z_{ПЕР}$, $D_{PLAT}/D_{STAN} < 0.8$. В результате даже при небольшом наклоне платформы гексапода размеры зоны доступа существенно уменьшаются. Отсюда следует, в частности, что при $\Omega_{MAX}=\theta$ зона доступа вырождается (становится равной нулю).

Рассмотренные выше методики численной оценки размеров зоны обработки гексапода позволяет как оценить размеры зоны обработки по известным размерам гексапода, так и выбрать минимально необходимые базовые размеры гексапода, который сможет обеспечить обработку в заданной рабочей зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуев В.В., Подзоров П.В. Особенности проектирования оборудования с параллельной кинематикой // СТИН. – 2004. – №4. – С. 3...10; №5. – С. 3...8.
2. Потапов П.В. Механизмы с параллельной кинематикой в машиностроении // Приложение. Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – №8(101).
3. Gosselin C. Determination of the Workspace of 6-DOF Parallel Manipulators // Journal of Applied Mechanical Design. – 1996. – Vol. 112. – pp. 331...336.
4. Luh C. и др. Working Capability Analysis of Stewart Platforms // ASME Journal of Mechanical Design. – 1996. – Vol. 118. – pp. 220...227.

УДК 004.891

Романюк Г.Э., Романюк С.И., Криволапов Д.В.

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ СРЕДСТВАМИ СУБД ACCESS

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Экспертные системы (ЭС) возникли как значительный практический результат в применении и развитии методов искусственного интеллекта (ИИ) - совокупности научных дисциплин, изучающих методы решения задач интеллектуального (творческого) характера с использованием ЭВМ [1].

Экспертная система — это программа для компьютера, которая оперирует со знаниями в определенной предметной области с целью выработки рекомендаций или решения проблем.

Экспертная система состоит из базы знаний (части системы, в которой содержатся факты), подсистемы вывода (множества правил, по которым осуществляется решение задачи), подсистемы объяснения, подсистемы приобретения знаний и диалогового процессора.

Основу успеха ЭС составили два важных свойства, отмечаемые рядом исследователей [2]:

в ЭС знания отделены от данных, и мощность *экспертной системы* обусловлена в первую очередь мощностью базы знаний и только во вторую очередь используемыми методами решения задач;

решаемые ЭС задачи являются неформализованными или слабоформализованными и используют эвристические, экспериментальные, субъективные знания экспертов в определенной предметной области.

Основными категориями решаемых ЭС задач являются: диагностика, управление (в том числе технологическими процессами), интерпретация, прогнозирование, проектирование, отладка и ремонт, планирование, наблюдение (мониторинг), обучение.

Основу ЭС составляет подсистема логического вывода, которая использует информацию из базы знаний (БЗ), генерирует рекомендации по решению искомой задачи. Чаще всего для представления знаний в ЭС используются системы продукций и семантические сети.

Обязательными частями любой ЭС являются также модуль приобретения знаний и модуль отображения и объяснения решений. В большинстве случаев реальные ЭС работают также на основе баз данных (БД). Только одновременная работа со знаниями и большими объемами информации из БД позволяет ЭС получить неординарные результаты, например, поставить сложный диагноз (медицинский или технический), открыть месторождение полезных ископаемых, управлять ядерным реактором в реальном времени.